

- 1) ОАО «Востокгазпром». Охрана природы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vostokgazprom.gazprom.ru/ecology/>, свободный. Загл. сэкрана;
- 2) Дроздовский А. А. Инженерный отчет №ИК-67/13 по энергетическому обследованию Открытого акционерного общества «Томскгазпром». Москва, 29.03. 2013г. 574 с.;

### АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

С. В. Парунин

Научный руководитель, профессор Г. Ю. Боярко

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Солнечная энергия является возобновляемым источником энергии, потенциал которого, согласно теоретическим подсчетам, мог бы покрыть все энергетические потребности населения планеты. Технологии фотоэлектрического преобразования солнечного излучения в электроэнергию получают всё большее применение и развитие, их популярность непрерывно растет, а снижение производственных затрат за последние несколько лет предвещает большой потенциал развития [2].

Однако количество солнечной энергии изменяется во времени и зависит от времени суток, времени года, а также от погодных условий. Существует много способов нейтрализации этих недостатков, такие как: запасание энергии на несколько дней вперед; увеличение количества различных источников солнечной энергии или различных источников возобновляемой энергии, или же потребление резервных запасов традиционных источников энергии, таких как уголь, нефть, уран.

Различают два основных семейства технологий производства фотоэлементов [4]:

- технологии на основе монокристаллического и мультикристаллического кремния (85% мирового производства);

- технологии на основе тонких пленок из аморфного кремния, теллурида кадмия, из соединений меди индия и селена и из арсенида галлия.

Кроме того, сегодня также развиваются другие новые технологии, на основе органических, полимерных фотоэлементов на основе фуллеренов [7].

Наиболее затратной из кремниевых технологий является производство фотоэлементов из монокристаллов кремния, у нее наиболее высокий коэффициент полезного преобразования солнечной энергии в электроэнергию (КПД) из кремниевых технологий. Преимущество заключается в уменьшении размера модулей, при сохранении производительности. Особенно данная технология выгодна в случае недостатка площадей для использования фотоэлектрических модулей.

Менее затратной является технология получения фотоэлементов из мультикристаллических (поликристаллических) слитков. Данная технология упрощает процесс выращивания кристаллов и позволяет значительно снизить энергетические расходы за счёт выращивания мультикристаллических, а также монокристаллов позволяющих получать фотоэлементы, сходные по своим характеристикам, с фотоэлементами производимыми из монокристаллов кремния. Снижение себестоимости фотоэлементов позволяет этой технологии в настоящее время доминировать на рынке производителей фотоэлементов.

Основными материалами для тонкопленочных технологий являются: аморфный кремний, применяемый в течение многих лет, в частности при изготовлении часов и калькуляторов; CdTe (гетеропереход теллурида кадмия и сульфида кадмия), CIS (гетеро соединения диселенида меди-индия и сульфида кадмия).

Перспективной является технология производства фотоэлементов на основе искусственных перовскитных материалов. Работы по изучению перовскитов были инициированы в 2009 году, а первые фотоэлементы на основе перовскита имели КПД всего 3.8 %, однако время его работы из-за деградации кристаллической структуры составляло менее нескольких минут [4].

Проведение дальнейших исследований позволило установить, что КПД перовскитов определяется их электронной структурой, позволяющей проводить эффективное поглощение света, а также что искусственные перовскитные материалы можно легко получать, они без проблем кристаллизуются из растворов. Перовскиты легко проводят образовавшиеся в результате фотовозбуждения электрические заряды.

На основе искусственных перовскитных кристаллических структур и технологий производства фотоэлементов Гретцеля в исследовательских лабораториях создано новое поколение фотоэлементов. Искусственные фотоэлектрические перовскиты представляют собой гибридное сочетание органических и неорганических материалов. В данных материалах метиламмонийный ион обычно занимает положение А, свинец или олово – М, и ионы галогена – элементы Х структуры  $AMX_3$ . Искусственные перовскитные материалы обычно используются в качестве одного слоя многослойной солнечной батареи, в которой другие материалы способствуют переходу фотогальванического тока в устройство, к которому она подключена. КПД таких элементов достигал значения около 10%.

Для решения проблемы быстрой деградации кристаллической структуры учеными предложено использование добавок в раствор соединений свинца. На основании экспериментальных работ по подбору различных соединений свинца удалось поднять КПД элементов до 15% и увеличить срок службы фотоэлементов до 5 лет. Также было обнаружено, что микропоры, образующиеся при нанесении перовскита на рабочую поверхность, способствуют деградации фотоэлементов, способствуя попаданию паров воды и воздуха. Соответственно предложено использовать прогрессивные методы нанесения плёнок перовскита, без образования микропор.

В результате дальнейших исследований было разработано более эффективное многослойное устройство, в состав которого входили прозрачные электропроводные электроды из оксида титана и метиламмонийный перовскитный материал. КПД таких элементов достиг значения 17,9%. Отрицательным фактором использования соединений свинца является их токсичность для человеческого организма. Соответственно предложено использовать в качестве их заменителя соединения олова. Значения КПД для различных видов фотоэлементов представлено в таблице 1.

Таблица 1

КПД фотоэлементов в применяемых технологиях их производства (на 2015 г.)

Технология	Значение КПД модуля	Максимальный КПД лабораторных образцов фотоэлементов	Теоретический, максимальный КПД	Состояние технологии на 2015 год
Монокристаллический кремний	18 - 20 %	25 %	28 %	Действ. произв.
Мультикристаллический кремний	16 - 17 %	20 %	28 %	Действ. произв.
Ленточный кремний	12 - 16 %	22 %	28 %	Действ. произв. (остановлено)
Аморфный кремний	6 - 8 %	12,7 %	25 %	Действ. произв.
Монокр Si + Аморф Si	22-24%	25%	28 %	Действ. произв.
Микрокристаллический кремний	10 - 12 %	16,4 %	27 %	Действ. произв.
Теллурид кадмия (CdTe)	7 - 10 %	16 %	28,5 %	Действ. произв.
Диселенид меди и индия (CIS)	10 - 14 %	18,2 %	27,5 %	Действ. произв.
Арсенид галлия (GaAs) с подложкой из Ge;	19 - 22 %	25,7 %	29 %	Аэрокосмич и оборонная произв.
несколько p-n переходов	44%			
Органические материалы (TiO <sub>2</sub> )	10 %	12%		Опытно. произв.
ФЭП Гретцеля				
Искусственные перовскиты		17,9 %		Лаборат. исп.
Тандемный фотоэлемент (монокристаллический кремний и искусственные перовскиты)		25-30 %		Лаборат. исп.

Следует отметить и разработку тандемных фотоэлементов с применением технологии получения фотоэлементов из монокристаллов кремния и перовскитных материалов [6]. В настоящее время (2015 г.) в лабораторных условиях достигнуто значение КПД тандемных фотоэлементов в 25-30 %. По оценкам экспертов следует ожидать дальнейшего роста значений КПД для тандемных фотоэлементов на основе монокристаллов кремния и перовскитных материалов. Преимуществом данных тандемных фотоэлементов, по сравнению с фотоэлементами на основе арсенида галлия с подложкой из германия и несколькими p-n переходами, является возможность модернизации действующих производственных мощностей по производству фотоэлементов из кремния, что позволит минимизировать издержки на её проведение. Что также позволит снизить значение стоимости ватта установленной мощности до 0,20-0,30 долларов США.

В последнее десятилетие в Европе наметилась тенденция к увеличению цены за ватт установленной мощности для ископаемых источников [3]. Учитывая данную ситуацию, цена на ватт установленной мощности для ископаемых источников может достигнуть 0,50 долларов США [1]. Следовательно, увеличивается и экономическая эффективность использования альтернативных источников энергии, в том числе солнечной энергетики с применением фотоэлементов.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы: наиболее разработанными для крупномасштабного промышленного производства являются технологии получения фотоэлементов из монокристаллического и мультикристаллического кремния; перспективным является производство фотоэлементов из искусственных перовскитов и тандемных фотоэлементов на основе монокристаллов кремния и перовскитных материалов; преимуществом тандемных фотоэлементов, по сравнению с фотоэлементами на основе арсенида галлия с подложкой из Ge и несколькими p-n переходами, является возможность модернизации действующих производственных мощностей по получению фотоэлементов из кремния, что позволит минимизировать издержки на её проведение; в ближайшей перспективе следует ожидать падения стоимости ватта установленной мощности для фотоэлементов до 0,20-0,30 долларов США и увеличение цены этого показателя для ископаемых энергоносителей в Европе до 0,50 долларов США.

#### Литература

1. Новости альтернативной энергетики // (сайт компании ООО «АЭнерджи»). URL: <http://aenergy.ru> (дата обращения 14.01.2016).
2. Рац Г. И., Мординова М. А. Развитие альтернативных источников энергии в решении глобальных энергетических проблем // Известия ИГЭА. – 2012. – №2. – С. 132-136.
3. Солнечная энергетика: Учебное пособие / Под Ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 276 с.
4. Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. – John Wiley & Sons, 2003. – 1179 p.
5. Perovskite Solar Cells: From Materials to Devices, 2014. URL: <http://www.materialsviews.com>.

6. Tandem solar cell may boost electricity from sunlight // *Scientific American*, March 25 2015. URL: <http://www.scientificamerican.com>.
7. Wurfel P. *Physics of Solar Cells: From Principles to New Concepts*. – Wiley-VCH, 2003. – 188 p.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДЕКСОВ SOLOMON И НЕЛЬСОНА ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

П. Г. Петкова

Научный руководитель, ассистент Е. М. Вершкова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия*

Проведение качественного сравнительного анализа развития нефтеперерабатывающих предприятий, находящихся в разных регионах, и степени их технологического совершенствования – это весьма сложный процесс. Рассматриваются такие показатели, как «глубина переработки нефти», «эффективность персонала», «рентабельность», «чистая денежная маржа». Для их анализа и сравнения можно использовать традиционный метод учета и аудита, или методики американской компании Solomon Associated для анализа работы нефтеперерабатывающих предприятий. Так же для сравнения технологического уровня нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) применим Индекс Нельсона.

Комплексное сравнение состояния отдельных НПЗ и динамика их развития за последние 25 лет осуществляется компанией HSB Solomon Associated (SA), LLC. Обследование Solomon-а охватывает более 85% НПЗ в мире и тем самым обеспечивает достоверную и надёжную информацию. Участники обследования каждый четный год получают итоговые отчеты по оценке состояния, а также аналитические материалы, которые помогают руководству НПЗ в процессах развития. С целью обеспечения конфиденциальности результаты исследования и сравнительных анализов представляются с использованием стандартных групп сравнения (репрезентативные группы). НПЗ, принимающие участие в исследовании, по одинаковым показателям распределяются на четыре равные подгруппы – квартили. В первом квартиле находятся 25% из всех НПЗ участвующих в анализе, показывающие самые лучшие показатели в данной группе, а в четвертом квартиле находятся 25% НПЗ, для которых характерен самый низкий уровень показателей. В случаях, когда количество участвующих НПЗ невелико, деление НПЗ осуществляется на 3 или даже 2 квартиля. Данные сравнения по стандартным группам/квартилям обеспечивают для всех НПЗ возможность увидеть на каком уровне находится данный НПЗ по конкретному показателю сравнения. Эта информация представляет детальное описание и надёжную оценку руководителям предприятия о проблемах НПЗ, на которых они должны сосредоточиться в первую очередь, соответственно наметить планы и мероприятия по улучшению.

В структуре исследования задействовано большое количество показателей, которые делятся на две основных группы – показатели эффективности и показатели конкурентоспособности.

К показателям эффективности относятся, например, индекс энергоёмкости и индекс эффективности неэнергетических затрат, а так же другие. К показателям конкурентоспособности относятся такие индексы, как OPEX – денежные операционные затраты и NEOPEX – неэнергетические затраты и другие.

Группирование НПЗ при обследовании осуществляется двумя способами. Первый по географическому признаку, так как разные регионы характеризуются разными ценовыми условиями сырья, энергоисточников, уровня оплаты труда и т.д. Обоснованные пять больших регионов: Африки, Америки, Ближнего Востока, Европы и Азиатско-тихоокеанского. Каждый из них разделен ещё на несколько регионов поменьше.

Второй способ группирования НПЗ при обследовании – по масштабу и сложности НПЗ, так как никакие технические решения не обеспечат возможность мелкому НПЗ работать на уровне расходных норм крупного НПЗ. Такой способ группирования называется «Комплексные группы». По этой классификации SA отличает пять комплексных групп НПЗ:

- GOC 1 – НПЗ с комплексным фактором  $< 6,9$ ;
- GOC 2 –  $6,9 \leq$  комплексный фактор  $< 8$ ;
- GOC 3 –  $8 \leq$  комплексный фактор  $< 9,5$ ;
- GOC 4 – НПЗ с комплексным фактором  $\geq 9,5$ .

Комплексный фактор представляет собой производительность установок мощностью НПЗ, тыс. барреля в сутки. Кроме всех показателей конкурентоспособности и эффективности, которые Solomon Associated рассматривает в своих сравнительных анализах НПЗ, есть еще индекс, присутствующий при характеристике и сравнении НПЗ – Индекс Нельсона, который в настоящее время занимает ключевые позиции, вытесняя термин «Глубина переработки». Этот индекс представляет собой обобщенную характеристику стоимости и качества вторичных процессов переработки, имеющихся на отдельно взятом НПЗ, оценивая уровень вторичной мощности преобразования на НПЗ по отношению к первичной мощности дистилляции. Каждая основная единица оборудования НПЗ имеет свой коэффициент сложности, который сравнивается с оборудованием по перегонке сырой нефти, коэффициент сложности которого равен 1,0. Сложность данного НПЗ определяется путём суммирования значений сложности, присвоенных каждой единице оборудования, в том числе установке перегонки сырой нефти. Чем больше установок имеет данный завод, тем больший индекс сложности Нельсона будет иметь. Индекс сложности Нельсона указывает не только на интенсивность инвестиций или индекс